

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関  
国際事務局



(43)国際公開日  
2005年8月4日 (04.08.2005)

PCT

(10)国際公開番号  
WO 2005/071454 A1

(51)国際特許分類<sup>7</sup>:

G02B 6/122

(21)国際出願番号:

PCT/JP2005/000703

(22)国際出願日:

2005年1月20日 (20.01.2005)

(25)国際出願の言語:

日本語

(26)国際公開の言語:

日本語

(30)優先権データ:

特願2004-016536 2004年1月26日 (26.01.2004) JP  
特願2004-016537 2004年1月26日 (26.01.2004) JP

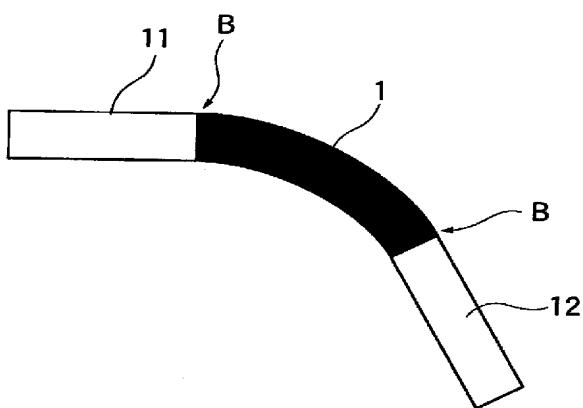
(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): 日立化成工業株式会社 (HITACHI CHEMICAL CO.,LTD.) [JP/JP]; 〒1630449 東京都新宿区西新宿二丁目1番1号 Tokyo (JP).

(72)発明者; および

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 宮寺信生 (MIYADERA, Nobuo) [JP/JP]; 〒3004247 茨城県つくば市和台48 日立化成工業株式会社 総合研究所内 Ibaraki (JP). 山本礼 (YAMAMOTO, Rei) [JP/JP]; 〒3004247 茨城県つくば市和台48 日立化成工業株式会社 総合研究所内 Ibaraki (JP).

(54)Title: CURVED OPTICAL WAVEGUIDE AND OPTICAL DEVICE

(54)発明の名称: 曲線光導波路及び光学装置



WO 2005/071454 A1

転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な曲線光導波路。このような曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路、ならびにこのような曲線光導波路を用いた光学装置である。

(57)Abstract: A curved optical waveguide comprising a core and a clad, characterized in that the core shape has no reversal of a curvature in the middle thereof, with curvatures at opposite ends thereof gradually approaching zero. A curved optical waveguide comprising a core and a clad, characterized in that the core shape has no reversal of a curvature in the middle thereof, with a curvature at one end thereof gradually approaching zero and a radius of curvature at other end being finite. An optical waveguide comprising such a curved optical waveguide and an optical waveguide having a separate core shape and disposed by being optically connected with the former, and an optical device using such a curved optical waveguide.

(57)要約: コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反

## 明 細 書

### 曲線光導波路及び光学装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、曲線光導波路及びそれを用いた光学装置に関する。

#### 背景技術

[0002] 近年のパソコンやインターネットの普及に伴い、情報伝送需要が急激に増大しており、伝送速度の速い光伝送が普及されつつある。光導波路はこのような光伝送における光インターフェクションとして使用されている。

光伝送のための分岐結合器を構成する場合などにおいて、 $1 \times 2$  分岐構造を構成するには、2本の曲線光導波路が分岐構造部に接続する部分(分岐光導波路の出力端)では、理想的には両曲線光導波路の間隔を無限小から徐々に広げることが分岐部での過剰損失を小さくするために有効であるが、製造上の制約から歩留まりよく無限小の間隙を形成すること及び間隔を無限小から徐々に広げることは極めて困難である。このため、該曲線光導波路の分岐光導波路の出力端との接続端部では軸ずれが生じた方が分岐部の過剰損失を小さく抑えることが可能である。すなわち、モード中心がそれぞれ内側に軸ずれを生じるため、両曲線光導波路の間隔を広く配置しても低損失に分岐部との接続が可能となる。このように、両曲線光導波路の間隔を広く配置することで、分岐部形状の製造ばらつきの影響を小さくすることができるばかりでなく、クラッド材料によって生じ得る狭幅部分の埋め込み不良を軽減することができる。このためには、円弧型曲線光導波路を有効に用いることができる。

[0003] 円弧を用いた曲線光導波路においてはその両端において曲率半径が有限であるため、直線光導波路と接続する場合には、該接続点において、曲率が不連続に変化するため、伝搬モードの中心軸が導波路構造の幾何学的中心位置に対して軸ずれを生ずるため、該接続部分でのモード整合を改善し、低損失な導波路を提供するためには、該接続部分の導波路構造に軸ずれを設ける必要があった。軸ずれ量は、コアとクラッドとの屈折率、コア寸法、波長に依存するため、屈折率やコア寸法が製造上のばらつきにより変動することによって、損失の変動要因となることが課題であった。

。また、波長依存性のため、広帯域の波長範囲で最適な軸ずれ量を設けることはできないことが課題であった。

一方、分岐光導波路の入力端に円弧型曲線光導波路を用いると曲率半径が有限であるため、モード中心が軸ずれを起こすとともに中心軸に対して非対称なモード形状となるため、分岐比を対称(1:1)にするのが困難であった。また、異なる波長においては、軸ずれ量及び非対称性が異なるため、広い波長範囲で分岐比を一定に保つことが困難であった。そこで、分岐光導波路の入力端には、直線光導波路を接続させる手法を用いたが、この直線光導波路と曲線光導波路との接続部分で過剰損失が生じるばかりでなく、光導波路の全長が長くなり光導波路が大型化してしまうという欠点があった。

すなわち、分岐光導波路の出力端においては、円弧型曲線光導波路との接続が有利である。一方、分岐光導波路の入力端においては、分岐比を対称にする(1:1)ためには、直線光導波路のような曲率半径が無限大(曲率がゼロ)である光導波路を接続することが好ましい。

[0004] この光導波路(コア)の形状がS字型曲線などの曲線型である場合、曲率の不連続変化部分において光伝搬モードの中心軸がコアの幾何学的中心軸に対してずれが生じ、結果として光損失が生じる。この損失を低減するためには曲線の一部にコアの幾何学的中心軸をずらした軸ずれ構造部分(オフセット)を設ける必要がある。しかし、かかる軸ずれ構造はコアとクラッドとの屈折率、コア寸法、光波長に依存するため、製造上のはらつき等の要因により最適な軸ずれ構造を設けることは困難であり、光損失が生じる問題があるため、一般には軸ずれ構造を有さないことが好ましい。また、波長依存性のため、広帯域の波長範囲で最適な軸ずれ量を設けることはできないことが課題であった。

ここでCADソフト等において、光導波路等における曲線形状を作成する関数が幾つか知られている。一つは曲率半径Rの二つの弧を逆方向に接続した形状(以下アーク結合形状と称する)である。アーク結合形状は接続点において曲率が不連続に変化するため、上述したように弧の接続部分に軸ずれ構造を設ける必要がある。

[0005] また、下記コサイン関数を用いた形状(CADソフト上ではSベンドコサインと称され

ている)も知られており、この形状では上記の軸ずれ構造を曲線の中途に設ける必要がない。

$$y = 1/2(1 - \cos \pi z) \dots \dots \dots [VIII]$$

しかし、両端においてその曲率が有限であるため、直線光導波路との接合において軸ずれ構造を設ける必要が生じる。(図2)

また、下記サイン関数を用いた形状(CADソフト上ではSベンドサインと称されている)は軸ずれ構造を中途に設ける必要がなく、両端においてその曲率半径が無限大(曲率がゼロ)となるので、直線光導波路と両端で接合する場合には中心軸が一致し、軸ずれ構造を設ける必要がない。

$$y = z - (1/2\pi) \sin 2\pi z \dots \dots \dots [IX]$$

[0006] なお、光導波路のかかる軸ずれ構造については、文献(例えば非特許文献1参照)に一般的な記載がある。

また、分岐光導波路の変曲点及び出力導波路との接続点に軸ずれを設け、テーパ導波路の分岐点における分岐導波路の間に隙間を設け、曲線光導波路における界分布のピークのずれを補填できるようにした分岐合波光導波路が提案されている(特許文献1参照)。

さらにまた、多項弧の光導波路を用いてモジュール化を容易にした光結合器及びその製作方法も提案されている(特許文献2参照)。

[0007] 非特許文献1:光波工学、国分泰雄、共立出版株式会社、第250頁

特許文献1:特許第2809517号公報

特許文献2:特表2002-530690号公報

### 発明の開示

[0008] 本発明は、このような状況下で、上記のような、異なる性質の光導波路を接続する場合に好適に用いることのできる曲線光導波路を提供することを目的とするものである。

[0009] 本発明はコア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路、そのコア形状が中途に曲率の反転を許さず、かつ一端における曲率がゼロ

に漸近し、他端における曲率半径が有限な曲線光導波路を提供するものである。

また、本発明はこのような曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路、ならびにこのような曲線光導波路を用いた光学装置も提供するものである。

すなわち、本発明は、

(1)コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。

(2)コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な曲線光導波路。

(3)コア形状が以下の式[I]で定義される、上記(1)に記載の曲線光導波路：

$$y = \sin \pi z \cdots \cdots \cdots [I]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(4)コア形状が以下の式[II]で定義される、上記(1)に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [II]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(5)コア形状が以下の式[III]で定義される、上記(1)に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [III]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、aはゼロでない実数である。

(6)上記(1)に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

(7)上記(1)に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路。

(8)前記別のコア形状の光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非S字型曲線光導波路である上記(6)または上記(7)に記載の光導波路。

(9) 前記コア形状が以下の式[IV]で定義される、上記(8)に記載の光導波路：

$$y = 1 - \cos[(\pi/2)z] \cdots \cdots \cdots [IV]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(10) 前記コア形状が以下の式[V]で定義される上記(8)に記載の光導波路：

$$y = (1-t)f(z) + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f(z)はzの連続関数であり、 $f(0) = 0$ 、 $f(1) = 1$ 、 $f''(0) = 0$ 、 $f''(1) = 0$ を満足する関数であり、 $f''(z)$ はf(z)のzに関する2階微分を表す。tはゼロでない実数である。

(11) 前記コア形状が以下の式[VI]で定義される、上記(8)に記載の光導波路：

$$y = (1-t)z + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tはゼロでない実数である。

(12) 前記コア形状が以下の式[VII]で定義される、上記(8)に記載の光導波路：

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin \pi z] \\ &+ t[1 - \cos[(\pi/2)z]] \cdots \cdots [VII] \end{aligned}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tおよびaはゼロでない実数である。

(13) 前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である上記(6)もしくは上記(7)に記載の光導波路。

(14) 前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した上記(13)に記載の光導波路。

(15) 上記(1)に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

(16) 上記(1)に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

(17) 前記曲線光導波路の他方の端部には別の分岐光導波路を光学的に接続して配置した上記(8)に記載の光導波路。

(18) コア形状が以下の式[IV]で定義される、上記(2)に記載の曲線光導波路：

$$y = 1 - \cos[(\pi/2)z] \cdots \cdots \cdots [IV]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

(19)コア形状が以下の式[V]で定義される、上記(2)に記載の曲線光導波路：

$$y = (1-t)f(z) + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f(z)はzの連続関数であり、 $f(0) = 0$ 、 $f(1) = 1$ 、 $f''(0) = 0$ 、 $f''(1) = 0$ を満足する関数であり、 $f''(z)$ はf(z)のzに関する2階微分を表す。tはゼロでない実数である。

(20)コア形状が以下の式[VI]で定義される、上記(2)に記載の曲線光導波路：

$$y = (1-t)z + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tはゼロでない実数である。

(21)コア形状が以下の式[VII]で定義される、上記(2)に記載の曲線光導波路：

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin \pi z] \\ &+ t[1 - \cos[(\pi/2)z]] \cdots \cdots \cdots [VII] \end{aligned}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tおよびaはゼロでない実数である。

(22)上記(2)に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

(23)前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である上記(22)に記載の光導波路。

(24)前記分岐光導波路の出力端を前記曲線光導波路の曲率半径が有限である端部に光学的に接続して配置した上記(23)に記載の光導波路。

(25)前記分岐光導波路の入力端に前記曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部を光学的に接続して配置した上記(23)に記載の光導波路。

(26)上記(2)に記載の曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

(27)上記(2)に記載の曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

(28) 上記(2)に記載の曲線光導波路の曲率半径が有限な端部にフィルタ等を含む反射面を隣接して配置した光導波路。

(29) 光導波路のコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーである上記(1)～(28)のいずれかに記載の曲線光導波路。

(30) ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である、上記(29)に記載の曲線光導波路。

(31) 上記(1)～(30)のいずれかに記載の光導波路を用いた光学装置。  
を提供するものである。

[0010] 本発明の曲線光導波路を用いることで、両端において直線光導波路と軸ずれなしに低損失に結合する光導波路を構成することができる。また、本発明の曲線光導波路は、直線光導波路への接合の他に、分岐構造の結合部(1x2であれば、1ch側)との接合に好適に用いることができる。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。

また、上記関数で定義される形状を有する曲線光導波路を用いることにより、一端においては直線導波路と軸ずれなしに低損失に結合し、他端においては同一の曲率の曲線光導波路と軸ずれなしに結合する光導波路を構成することができる。また、本発明の曲線光導波路を用いることで、一端においては直線導波路と軸ずれなしに低損失に結合し、他端においては光のモード中心を光導波路コアの幾何学的中心から軸ずれを起こした形で結合する光導波路を構成することができる。

曲率がゼロである端部の接合は、直線光導波路への接合の他に、分岐構造の結合部(1x2であれば、1ch側)との接合に好適に用いることができる。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。

曲率が有限である端部の接合は、曲線光導波路への接合の他に、分岐構造の分岐部(1x2であれば、2ch側)との接合に好適に用いることができる。この接合部分に

においては、分岐根元部の狭幅部分を有限の間隙とした場合であっても、分岐部根元中央部からの漏れ光を低減することができ、分岐過剰損失を少なくすることが可能である。

また、本発明では非S字型曲線光導波路を用いるので短尺化が可能であり、分岐の際には分岐比が安定する上、方向変換も可能となり、スプリッターの大規模化を小スペースで効率的に実現できる。

さらにまた、本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができ、さらに光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。

このように、本発明の曲線光導波路は、光導波路を設計、マスク作製、製造のプロセス全体を容易にする効果も有しており、これを用いて出来上がった光導波路の性能をも良好に実現できるものである。

発明を実施するための最良の形態

[0011] 第一発明の曲線光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする。

また、第二発明の曲線光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限であることを特徴とする。

第一発明の曲線光導波路としては、たとえば以下の式[I]で定義される関数を用いて実現することができる:

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

上記式[I]では、座標系を始点が $z=0$ 、 $y=0$ 、終点が $z=1$ 、 $y=0$ となる形で規格化して示しているが、必要に応じて $y$ 方向及びまたは $z$ 方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

第一発明の曲線光導波路としてはまた、以下の式[II]で定義される関数を用いて

実現することができる:

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [II]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

上記式[II]では、座標系を始点がz=0、y=0、終点がz=1、y=1となる形で規格化して示しているが、必要に応じてy方向及びまたはz方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

また、第一発明の曲線光導波路としては、以下の式[III]で定義される関数を用いて実現することができる:

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [III]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、aはゼロでない実数である。a=1の時に、上記式[III]は、上記式[II]と一致する。上記式[III]では、座標系を始点がz=0、y=0、終点がz=1、y=1となる形で規格化して示しているが、必要に応じてy方向及びまたはz方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。

また、第二発明の曲線光導波路としては、たとえば以下の式[IV]で定義される関数を用いて実現することができる:

$$y = 1 - \cos[(\pi/2)z] \cdots \cdots \cdots [IV]$$

上記式では、座標系を始点がz=0、y=0、終点がz=1、y=1となる形で規格化して示しているが、必要に応じてy方向及びまたはz方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。上記式[IV]の形式で表現した場合、z=0は曲率半径が有限である端部、z=1は曲率がゼロに漸近する端部を示している。

第二発明の曲線光導波路としてはまた、以下の式[V]で定義される関数を用いて実現することができる:

$$y = (1-t)f(z) + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f(z)はzの連続関数であり、f(0)=0、f(1)=1、f''(0)=0、f''(1)=0を満足する関数であり、f''(z)はf(z)のzに関する2階微分を表す。tはゼロでない実数である。

上記式では、座標系を始点が $z=0$ 、 $y=0$ 、終点が $z=1$ 、 $y=1$ となる形で規格化して示しているが、必要に応じて $y$ 方向及びまたは $z$ 方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。上記式[V]の形式で表現した場合、 $z=0$ は曲率半径が有限である端部、 $z=1$ は曲率がゼロに漸近する端部を示している。

また、第二発明の曲線光導波路としては、以下の式[VI]で定義される関数を用いて実現することができる。

$$y = (1-t)z + t\{1-\cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、 $y$ 及び $z$ は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$ はゼロでない実数である。上記式[V]において、 $f(z)=z$ の場合に式[VI]となる。上記式[VI]では、座標系を始点が $z=0$ 、 $y=0$ 、終点が $z=1$ 、 $y=1$ となる形で規格化して示しているが、必要に応じて $y$ 方向及びまたは $z$ 方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。上記式[VI]の形式で表現した場合、 $z=0$ は曲率半径が有限である端部、 $z=1$ は曲率がゼロに漸近する端部を示している。

さらにまた第二発明の曲線光導波路としては、以下の式[VII]で定義される関数を用いて実現することができる。

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin \pi z] \\ &+ t[1-\cos[(\pi/2)z]] \cdots \cdots \cdots [VII] \end{aligned}$$

上記式において、 $y$ 及び $z$ は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、 $t$ および $a$ はゼロでない実数である。上記式[V]において、

$$f(z) = z - (a/\pi)\sin \pi z$$

の場合に上記式[VII]となる。上記式[VII]では、座標系を始点が $z=0$ 、 $y=0$ 、終点が $z=1$ 、 $y=1$ となる形で規格化して示しているが、必要に応じて $y$ 方向及びまたは $z$ 方向に拡大縮小して用いることができる。また、必要に応じて向きを変えたり、反転させたりして用いることができる。上記式[VII]の形式で表現した場合、 $z=0$ は曲率半径が有限である端部、 $z=1$ は曲率がゼロに漸近する端部を示している。

[0012] 第一発明の曲線光導波路はそのコア形状が中途に曲率の反転を有さない曲線光

導波路製造用マスクであつて、曲線光導波路両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とするパターンを有するマスクを用いて製造することができる。

第二発明の曲線光導波路は中途に曲率の符号の反転がないパターンを有する非S字型のコア形状を有する曲線光導波路製造用マスクにあつて、該パターンの一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限であることを特徴とするマスクを用いて製造することができる。

本発明の曲線光導波路は、上述したマスクを用いることにより、従来の曲線光導波路について公知の手順で同様に作製することができる。例えばクラッド上にコア材料(後述)からなる層を設けた後、この層の上に感光性レジスト層を設け、上記マスクを載せて、露光、現像を行い、本発明の曲線光導波路形状を有するコアを形成する。また、上記マスク材料には、公知のいずれのもの用いても良い。

[0013] 本発明の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路を構成することが可能である。また、本発明の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路を構成することも可能である。別のコア形状の光導波路としては、例えば分岐光導波路が考えられ、その一つの例として分岐光導波路であり、その入力端を第一発明にかかる曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した光導波路がある。

また、分岐光導波路の出力端を第二発明にかかる曲線光導波路の曲率半径が有限である端部に光学的に接して配置した光導波路がある。更に具体的には第一発明の曲線光導波路と第二発明の曲線光導波路を光学的に接続した非S字型曲線光導波路が考えられる。

[0014] 一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非S字型曲線光導波路のコア形状は：

$$y = 1 - \cos[(\pi/2)z] \dots \quad [IV]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

$$y = (1-t)f(z) + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots \quad [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f

(z) は z の連続関数であり、 $f(0)=0$ 、 $f(1)=1$ 、 $f''(0)=0$ 、 $f''(1)=0$  を満足する関数であり、 $f''(z)$  は  $f(z)$  の z に関する 2 階微分を表す。t はゼロでない実数である。

$$y = (1-t)z + t\{1 - \cos[(\pi/2)z]\} \cdots \text{[VI]}$$

上記式において、y 及び z は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、t はゼロでない実数である。

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin\pi z] \\ &\quad + t[1 - \cos[(\pi/2)z]] \cdots \text{[VII]} \end{aligned}$$

上記式において、y 及び z は光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、t および a はゼロでない実数である。

などで表される。

[0015] 次に、添付した図面に基いて本願発明を更に詳細に説明する。図1は第一発明である曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図1において、直線光導波路コア部分11及び12が第一発明の曲線光導波路コア部分1の両端部B、Bに接続されている。第一発明の曲線光導波路1は、両端部B、Bにおいて曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している。図2は従来の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図2において、直線光導波路コア部分11及び12が従来の曲線光導波路コア部分20の両端部A、Aに接続されている。従来の曲線光導波路10は、両端部Aにおいて曲率半径が有限である。

[0016] 図3は第二発明である曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。図3において、直線光導波路コア部分11及び12が第二発明の曲線光導波路コア部分21の両端部A、Bに接続されている。第二発明の曲線光導波路21は、端部Aにおいて曲率半径が有限であり、端部Bにおいて曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している。

図1、図2及び図3は両端を直線光導波路と良好に(低過剰損失に)接続した場合の構成例である。端部Aでは、光学中心がオフセットしているため、曲線光導波路と直線光導波路との接続部分で光導波路中心部分をずらす必要があるが、端部Bでは、光学中心がオフセットしていないため、接続部分で光導波路中心を一致させて

接続できる。

[0017] 既に記載している通り、本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができ、さらに光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。

シミュレーションソフトウェアによっては、光導波路部分構造の回転操作が困難な場合がある。このような場合には、上記式[II]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向に平行で出力端にてz方向と角度 $\theta$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。さらに、上記式[III]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向と角度 $\theta_1$ 、出力端にてz方向と角度 $\theta_2$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。

また、上記式[V]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向に平行で出力端にてz方向と角度 $\theta$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。さらに、上記式[VI]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向と角度 $\theta_1$ 、出力端にてz方向と角度 $\theta_2$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。

上記を以下に更に説明する。

(イ)式[I]の場合(図4参照)

$$y' = \pi \cos \pi z$$

$z=0$ (入力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = \pi$  (左端部)

$z=1$ (出力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = -\pi$  (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $\pi$ という数字自体に意味はないが、両端ともz軸方向から傾いている( $\theta \neq 0$ )。

(ロ)式[II]の場合(図5参照)

$$y' = 1 - \cos \pi z$$

$z=0$ (入力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = 0$ 。つまり、

$\theta = 0$ である。(左端部)

$z=1$ (出力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = 2$  (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、2という数字自体に意味はないが、始点では、z軸方向に平行であり、終点では、z軸から傾いている( $\theta \neq 0$ )ので使い勝手が

良い。例えば、z軸に平行な直線に接続して、出力端に傾けたい時など便利である。

(ハ)式[III]の場合(図6参照)

$$y' = 1 - a \cdot \cos \pi z$$

$z=0$ (入力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta_1 = 1 - a$ (右端部)

$z=1$ (出力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta_2 = 1 + a$ (左端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $1-a$ 、 $1+a$ という数字自体に意味はないが、始点ではz軸方向と $\theta_1$ 、終点ではz軸方向と $\theta_2$ 傾いている曲線を与えることができる所以使い勝手が良い。例えば、z軸とある傾き $\theta_1$ を持った光導波路に接続して、出力端を $\theta_2$ に傾けたい時など便利である。なお、 $a=1$ の場合は式[III]は式[II]と一致する。

[0018] (ニ)式[IV]の場合(図5参照)

$$y' = (\pi/2) \sin[(\pi/2)z]$$

$z=0$ (入力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = 0$ つまり、

$\theta = 0$ である。(左端部)

$z=1$ (出力端)のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta = \pi/2$ (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $\pi/2$ という数字自体に意味はないが、始点では、z軸方向に平行であり、終点ではz軸から傾いている( $\theta \neq 0$ )ので使い勝手がよい。例えば、z軸に平行な分岐構造に接続して、出力端を傾けたい時など便利である。

(ホ)式[V]の場合(図6参照)

$$y' = (1-t)f'(z) - t(\pi/2) \sin[(\pi/2)z]$$

$z=0$ (入力端)のとき、接線の傾きは、

$$y' = \tan \theta_1 = (1-t)f'(0) \quad (\text{左端部})$$

$z=1$ (出力端)のとき、接線の傾きは、

$$y' = \tan \theta_2 = (1-t)f'(1) + t(\pi/2) \quad (\text{右端部})$$

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $(1-t)f'(0)$ 、 $(1-t)f'(1) + t(\pi/2)$ という数字自体に意味はないが、始点ではz軸方向と $\theta_1$ 、終点ではz軸方向と $\theta_2$ 傾いている曲線を与えることができるので使い勝手が良い。例えば、z軸とある傾き $\theta_1$

を持った光導波路に接続して、出力端を  $\theta_2$  に傾けたい時など便利である。なお、 $t = 1$  の場合は式[V]は式[IV]と一致する。

(ヘ) 式[VI]の場合(図6参照)

式[V]において、 $f(z) = z$  の場合に相当するので、 $f'(z) = 1$  であり、 $f'(0) = f'(1) = 1$  となる。したがって、

$z=0$  (入力端) のとき、接線の傾きは、 $y' = \tan \theta_1 = 1-t$  (左端部)

$z=1$  (出力端) のとき、

接線の傾きは、 $y' = \tan \theta_2 = (1-t) + t(\pi/2)$  (右端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $(1-t)$ 、 $(1-t) + t(\pi/2)$  という数字自体に意味はないが、始点では  $z$  軸方向と  $\theta_1$ 、終点では  $z$  軸方向と  $\theta_2$  傾いている曲線を与えることができる所以使い勝手が良い。例えば、 $z$  軸とある傾き  $\theta_1$  を持った光導波路に接続して、出力端を  $\theta_2$  に傾けたい時など便利である。なお、 $t = 1$  の場合は式[VI]は式[IV]と一致する。

(ト) 式[VII]の場合(図6参照)

式[V]において、 $f(z) = z - (a/\pi) \sin \pi z$  の場合に相当するので、 $f'(z) = 1 - a \cdot c \oslash \pi z$  であり、 $f'(0) = 1-a$ 、 $f'(1) = 1+a$  となる。したがって、

$z=0$  (入力端) のとき、接線の傾きは、

$y' = \tan \theta_1 = (1-t)(1-a)$  (右端部)

$z=1$  (出力端) のとき、接線の傾きは、

$y' = \tan \theta_2 = (1-t)(1+a) + t(\pi/2)$  (左端部)

もとの式に定数倍してもかまわないので、 $(1-t)(1-a)$ 、 $(1-t)(1+a) + t(\pi/2)$  という数字自体に意味はないが、始点では  $z$  軸方向と  $\theta_1$ 、終点では  $z$  軸方向と  $\theta_2$  傾いている曲線を与えることができる所以使い勝手が良い。例えば、 $z$  軸とある傾き  $\theta_1$  を持った光導波路に接続して、出力端を  $\theta_2$  に傾けたい時など便利である。なお、 $a = 1$  の場合は式[VII]は式[IV]と一致する。

[0019] 図7は図1に示した曲線光導波路の端部Bの有効な利用例を表した図である。図7において、直線光導波路コア部分11に第一発明の曲線光導波路1の一端が接続されており、更に第一発明の曲線光導波路1の他端に分岐構造コア部分31の入力部

分が接続されている。図8は図1に示した曲線光導波路の端部の図7とは別の有効な利用例を表した図である。図8では第一発明の曲線光導波路コア部分1の一方の端部に図3に示した第二発明の曲線光導波路コア部分21の端部Bが接続されており、第一発明の曲線光導波路コア部分1の他方の端部に直線光導波路コア部分12に接続されている。図9は図1に示した曲線光導波路の端部Bの更に図8とは別の有効な利用例を表した図である。図9において、第一発明の曲線光導波路コア部分1～4の各一方の端部にマルチモード光導波路41が接続されている。

図10は図1に示した曲線光導波路の端部の更に図9とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、第一発明の曲線光導波路コア部分1の一方の端部に通常の光ファイバ42のコア部分が接続している。図11は図1に示した曲線光導波路の端部の更に図10とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、第一発明の曲線光導波路コア部分1の一方の端部に通常の光ファイバ用ガイド溝43が接続している。

[0020] 図12は図3に示した曲線光導波路の端部Aの有効な利用例を表した図である。図12において、直線光導波路コア部分11に分岐構造コア部分31が接続されており、この分岐構造コア部分31の出力部分に第二発明の曲線光導波路コア部分21及び22の曲率半径が有限な端部Aが接続されており、第二発明の曲線光導波路コア部分22の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに直線光導波路コア部分12が接続されている。図13は図3に示した曲線光導波路の端部Aの図12とは別の有効な利用例を表した図である。図13においては、第二発明の曲線光導波路を反射構造の近傍に配置された例を示しており、第二発明の曲線光導波路コア部分21及び22が、曲率半径が有限な端部Aにおいて特定の光を反射するフィルタ、ハーフミラーを含む金属ミラーなどの反射体48に接続している。

[0021] 図14は図3に示した曲線光導波路の端部Bの有効な利用例を表した図である。図14において、その構造は図12と全く同様であり、図14では第二発明の曲線光導波路コア部分22の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに直線光導波路コア部分12が接続されている。図15は図3に示した曲線光導波路の端部Bの図12とは別の有効な利用例を表した図である。図15では第二発明の曲線光導波路コア部分21の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに分岐構造コ

ア部分31が接続されている。

[0022] 図16は図3に示した曲線光導波路の端部Bの図15とは別の有効な利用例を表した図である。図16では第二発明の曲線光導波路コア部分21の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに第一発明の曲線光導波路コア部分1の端部Bが接続されており、図16に示した第二発明の曲線光導波路コア部分21のもう一方の端部Bは直線光導波路コア部分12に接続されている。図17は図3に示した曲線光導波路の端部Bの更に図16とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、第二発明の曲線光導波路コア部分21の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに通常の光ファイバ42のコア部分が接続している。図18は図3に示した曲線光導波路の端部Bの更に図17とは別の有効な利用例を表した図である。すなわち、第二発明の曲線光導波路コア部分21の曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部Bに通常の光ファイバ用ガイド溝43が接続している。

[0023] 図19は本発明の光学装置の一例として、第一発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの一実施態様を示す図である。図19において、本願の光学装置は実線で示す第一発明の曲線光導波路1ー6に破線で示す図3のコア形状の曲線光導波路、すなわち第二発明の曲線光導波路コア部分21ー26をそれぞれ光学的に接続して配置して光導波路を構成し、更に分岐光導波路31ー33及び光ファイバ用ガイド溝43ー47も接続して光スプリッタ200を構成している。図20はやはり本願の光学装置の一例として、本発明の曲線光導波路を用いた図19とは別の光スプリッタの一実施態様を示す図である。すなわち、実線で示す第一発明の曲線光導波路1ー2と破線で示す第二発明の曲線光導波路21ー24に分岐光導波路31ー33を接続配置して更に光ファイバ用ガイド溝43ー47も接続して光スプリッタ201を構成している。

光導波路等を接続するとは、光学的に接続されていれば良く、大きな損失が生じない程度に必要に応じて間隙を設けたり、接着層が設けられていても良い。こうすることで、本発明の曲線光導波路の応用範囲が拡がる。

[0024] 本発明の光導波路においてはコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーであることが好ましく、さらにポリマーはフッ素を含むポリイミド系樹脂であることが好ましい。

本発明の光導波路のコア、クラッド材料としてはガラスや半導体材料等の無機材料、樹脂等の有機材料など様々なものが挙げられるが、樹脂等のポリマーがドライエッティング等により短時間で加工しやすいため好ましい。なお、クラッドの全部若しくは一部として空気層を用いてもよい。このようなポリマーとしてはいずれのものも使用できるが、具体例としては、ポリイミド系樹脂(例、ポリイミド樹脂、ポリ(イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド)樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエーテルケトン樹脂、ポリエステルイミド樹脂等)、シリコーン系樹脂、アクリル系樹脂、ポリスチレン系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリアミド系樹脂、ポリエステル系樹脂、フェノール系樹脂、ポリキノリン系樹脂、ポリキノキサリン系樹脂、ポリベンゾオキサゾール系樹脂、ポリベンゾチアゾール系樹脂、ポリベンゾイミダゾール系樹脂、及びフォトプリーチング用樹脂(例、特開2001-296438号公報記載のポリシラン、ニトロン化合物を有するシリコーン樹脂、DMAPN{(4-N,N-ジメチルアミノフェニル)-N-フェニルニトロン}を含有するポリメタクリル酸メチル、ダイポリマー(dye polymer)、ニトロン化合物を含有するポリイミド樹脂あるいはエポキシ樹脂、特開2000-66051号公報記載の加水分解性シラン化合物等)が挙げられる。上記樹脂はフッ素原子を有しているものであってもよい。ポリマーとして好ましいものとしては、ガラス転移温度( $T_g$ )が高く、耐熱性に優れることからポリイミド樹脂が挙げられ、その中でも透過率、屈折率特性からフッ素を含むポリイミド系樹脂が特に好ましい。

[0025] フッ素を含むポリイミド系樹脂としては、フッ素を含むポリイミド樹脂、フッ素を含むポリ(イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド)樹脂、フッ素を含むポリエーテルイミド樹脂、フッ素を含むポリアミドイミド樹脂などが挙げられる。

[0026] 上記フッ素を含むポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N,N-ジメチルアセトアミド、γ-ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極性溶媒中で、テトラカルボン酸二無水物とジアミンを反応させることにより得られる。フッ素は、テトラカルボン酸二無水物とジアミンの両者に含まれていても良いし、いずれか一方にのみ含まれていてもよい。

また、上記フッ素を含まないポリイミド系樹脂の前駆体溶液は、N-メチル-2-ピロリドン、N,N-ジメチルアセトアミド、γ-ブチロラクトン、ジメチルスルホキシドなどの極

性溶媒中で、フッ素を含まないテトラカルボン酸二無水物とフッ素を含まないジアミンを反応させることにより得られる。

[0027] フッ素を含む酸二無水物の例としては、(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(トリフルオロメチル)ピロメリット酸二無水物、ジ(ヘプタフルオロプロピル)ピロメリット酸二無水物、ペントフルオロエチルピロメリット酸二無水物、ビス{3, 5-ジ(トリフルオロメチル)フェノキシ}ピロメリット酸二無水物、2, 2-ビス(3, 4-ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物、5, 5' -ビス(トリフルオロメチル)-3, 3' , 4, 4' -テトラカルボキシビフェニル二無水物、2, 2' , 5, 5' -テトラキス(トリフルオロメチル)-3, 3' , 4, 4' -テトラカルボキシビフェニル二無水物、5, 5' -ビス(トリフルオロメチル)-3, 3' , 4, 4' -テトラカルボキシジフェニルエーテル二無水物、5, 5' -ビス(トリフルオロメチル)-3, 3' , 4, 4' -テトラカルボキシベンゾフェノン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ベンゼン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン二無水物、2, 2-ビス{(4-(3, 4-ジカルボキシフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ジフェニルエーテル二無水物、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル二無水物などが挙げられる。

[0028] フッ素を含むジアミンとしては、例えば、4-(1H, 1H, 11H-エイコサフルオロウンデカノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ブタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-ヘプタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H-パーフルオロ-1-オクタノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-ペントフルオロフェノキシ-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(2, 3, 5, 6-テトラフルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(4-フルオロフェノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、4-(1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-ヘキサノキシ)-1, 3-ジアミノベ

ンゼン、4-(1H, 1H, 2H, 2H-パーフルオロ-1-ドデカノキシ)-1, 3-ジアミノベンゼン、2, 5-ジアミノベンゾトリフルオライド、ビス(トリフルオロメチル)フェニレンジアミン、ジアミノテトラ(トリフルオロメチル)ベンゼン、ジアミノ(ペントフルオロエチル)ベンゼン、2, 5-ジアミノ(パーフルオロブチル)ベンゼン、2, 2' -ビス(トリフルオロメチル)-4, 4' -ジアミノビフェニル、3, 3' -ビス(トリフルオロメチル)-4, 4' -ジアミノビフェニル、オクタフルオロベンジジン、4, 4' -ジアミノジフェニルエーテル、2, 2-ビス(p-アミノフェニル)ヘキサフルオロプロパン、1, 3-ビス(アニリノ)ヘキサフルオロプロパン、1, 4-ビス(アニリノ)オクタフルオロブタン、1, 5-ビス(アニリノ)デカフルオロペンタン、1, 7-ビス(アニリノ)テトラデカフルオロヘプタン、2, 2' -ビス(トリフルオロメチル)-4, 4' -ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' , 5, 5' -テトラキス(トリフルオロメチル)-4, 4' -ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' -ビス(トリフルオロメチル)-4, 4' -ジアミノベンゾフェノン、4, 4' -ジアミノ-p-テルフェニル、1, 4-ビス(p-アミノフェニル)ベンゼン、p-ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(3-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(2-アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2-ビス{4-(4-アミノフェノキシ)-3, 5-ジトリフルオロメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、4, 4' -ビス(4-アミノ-2-トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4' -ビス(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、4, 4' -ビス(3-アミノ-5-トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、2, 2-ビス{4-(4-アミノ-3-トリフルオロメチルフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ビス{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}ビフェニル、ビス[{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}フェニル]ヘキサフルオロプロパン、ビス{2-[アミノフェノキシ)フェニル]ヘキサフルオロイソプロピル}ベンゼンなどが挙げられる。

[0029] 上記のテトラカルボン酸二無水物およびジアミンは二種以上を併用してもよい。ポリイミド系樹脂の前駆体溶液として、感光性を有するものを使用することもできる。

ポリイミド系樹脂前駆体溶液は、スピナあるいは印刷などによる方法により基板表面上に塗布され、最終温度200～400°Cで熱処理し硬化されてポリイミド系樹脂被膜となる。

[0030] 本発明の光学装置は上記(1)～(30)のいずれかに記載の光導波路を用いて構成される。このような光学装置としては、光スプリッタ、方向性光結合器、光カプラ、光合分岐器、光合分波器、光送信モジュール、光受信モジュール、光送受信モジュール、光スイッチ、光変調器、光フィルタ、光偏向器、光分散補償器、光アドドロップモジュール、光クロスコネクトなどがあげられる。

### 実施例

[0031] 次に、本発明を実施例により、さらに詳細に説明するが、本発明は、この例によってなんら限定されるものではない。

#### 実施例1

本発明の曲線部分における過剰損失を以下のように評価した。(入力波長1. 31 μm及び1. 55 μm)

式[II]の関数で表される曲線を中心線とする第一発明の光導波路1～4を図21のように接続して配置した。この際、z軸方向の長さは、2. 6775mm、z軸と垂直方向の長さは、0. 125mmとした。具体的には、式[II]を次式で表されるようにして、z方向、x方向に拡大縮小して、光導波路の形状を得た。

光導波路の中心線の軌跡：

$$x/height = z/length - \sin[\pi(z/length)]/\pi \quad \dots [X]$$

但し、height=0. 125mm、length=2. 6775mmである。

なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。また、接続部において両曲線の接線が略平行となるように配置した。さらに、介在部の外側の入出力部には、z軸方向に平行な直線を中心線とする長さ0. 1mmの光導波路11, 12を接続した。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。図23のように構成された上記光導波路は、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0.

25mmである。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 004dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 003dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であった。

[0033] 比較例1

比較のために、実施例1と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、式[II]の曲線の代わりに円弧を用いた。また、実施例1と同様に、中央部、介在部に用いた円弧光導波路のz軸方向の長さは、全て2. 6775mmとした。なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 059dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 095dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例1に比べて大きな過剰損を示した。

[0034] 比較例2

比較のために、比較例1と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に0. 2  $\mu$  mのオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては0. 1  $\mu$  mのオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 013dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 039dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例1に比べて大きな過剰損を示した。波長1. 31  $\mu$  mでは、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、波長1. 55  $\mu$  mでは、過剰損失の低減は十分ではなく、両波長において同時に低損失を実現できなかった。

[0035] 比較例3

比較のために、比較例1と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に0. 4  $\mu$  mのオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては0. 2  $\mu$  mのオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 013dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 019dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例1に比べて大きな過剰損を示した。波長1. 31  $\mu$  m、1. 55  $\mu$  mともに、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、過剰損失の低減は実施例1に比べると十分

ではなかった。

[0036] 比較例4

比較のために、比較例1と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に0. 6  $\mu$  mのオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては0. 3  $\mu$  mのオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 060dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 036dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例1に比べて大きな過剰損を示した。波長1. 55  $\mu$  mでは、オフセットの効果によりわずかに過剰損失が低減したが、波長1. 31  $\mu$  mでは、オフセットを設けなかった比較例1と同等の過剰損失にとどまり、両波長において同時に低損失を実現できなかつた。

[0037] 比較例5

比較のために、比較例1と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に0. 8  $\mu$  mのオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては0. 4  $\mu$  mのオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 155dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 092dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例1に比べて大きな過剰損を示した。波長1. 31  $\mu$  mでは、オフセットを設けなかつた比較例1と比べると、オフセットの逆効果により過剰損失がかえって増大した、波長1. 55  $\mu$  mでは、過剰損失の低減効果はわずかであった。両波長において同時に低損失を実現できなかつた。

[0038] 以上の実施例及び比較例で用いた光導波路の構成要素、形状及び損失結果について、表1にまとめて示した。表1からわかるように、実施例1は、いずれの比較例と比べても、波長1. 31  $\mu$  m、1. 55  $\mu$  mともに低損失であった。また、円弧を組み合わせて構成した光導波路では、接続部での損失を低減するためにオフセットを種々変えて評価してみたが、両波長での低損失を同時に満足することができなかつた。すなわち、複数の波長で使用される光導波路や、広帯域の波長範囲で用いられる光導波路では、オフセットして接続した場合であつても、全波長範囲で低損失を実現する

ことができないことがわかる。

[0039] [表1]

表 1

項目	入出力部導波路形状	接続部オフセット導波路形状	介在部		接続部オフセット導波路形状	中間部		全長	波長	損失 dB	
			x幅	z長		x幅	z長				
実施例1	直線	なし	式 II	125 μm	2677.5 μm	なし	式 II	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm -0.004
比較例1	直線	なし	円弧	125 μm	2677.5 μm	なし	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.55 μm -0.003
比較例2	直線	0.1 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.2 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm -0.059
比較例3	直線	0.2 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.4 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.55 μm -0.095
比較例4	直線	0.3 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.6 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm -0.013
比較例5	直線	0.4 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.8 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.55 μm -0.039

[0040] 実施例2

次に、図22に示した構成の1×8スプリッタについて過剰損失を計算した。図中実線の部分1に式[II]の関数で表される曲線、実線の部分2～10に式[III]の関数で表される曲線をそれぞれ有する本発明の光導波路を用い、点線の部分51～64には図6の曲線光導波路や直線光導波路を、また34～40の部分にはマルチモード光導波路を用いた。接続に本発明の光導波路を用いた場合は、平均-9. 53dB(入力波長1. 31 μ mの場合)、平均-9. 76dB(入力波長1. 55 μ mの場合)であった。次に比較のため、図12と同様の構成の1×8スプリッタを従来のアーク曲線と直線を用いて過剰損失を計算した。アーク曲線光導波路を用いた場合は平均-9. 62dB(入力波長1. 31 μ mの場合)、平均-9. 91dB(入力波長1. 55 μ mの場合)であった。なお、過剰損失の計算にはビーム伝搬法(BPM)を用いた。このように、分岐光導波路間を接続するために第一発明の曲線光導波路を用いると損失を低減させることができた。

また、以下のようにして、上記のコアパターンのマスクを作製した。コアパターン寸法はプロセスで変化するので、変化量を考慮したコアパターンをCADで製図した。コアパターン以外にもマスクと基板の位置精度を向上させるためのアライメントマークや、その他パターン計測等に使用するマーカもマスクに追加した。CADの製図の手順は、製図作業の効率をよくするため、初めに1素子分のパターンを製図し、前記1素子分のパターンを配列複写してマスク全体にパターンを配置する。1素子分のパターンには、レイヤーを設けコアパターンを製図したレイヤー以外にも、違うレイヤーを用いてパターンを製図することが可能である。以上のように製図したCAD図面からマスク基板にパターンを露光機を用いて直接描画し、パターン部分をCrの金属膜で埋めたマスクと、パターン部分以外をCrの金属膜で埋めたマスクとを製作した。上記2つのマスクは、コアパターン形成プロセスで使用するレジストの種類及び光導波路製造におけるコア形成プロセスの種類によって使い分けることが可能である。

以上のように、第一発明の曲線光導波路を用いて構成された1×8スプリッタでは、アーク結合形状のS字型曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な過剰損失を示した。

[0041] 実施例3

以下の材料を用いて、図22に示される概略構造を有する曲線光導波路を有する光スプリッタを作製した。

コア: 日立化成工業株式会社製 OPI-N3205

クラッド: 日立化成工業株式会社製 OPI-N1005

製造方法; V溝が形成されたシリコンウエハ上に有機ジルコニウムキレートをスピンドル法により乾燥膜厚100オングストロームとなるように塗布し、乾燥後、その上にフッ素を含まないポリイミド樹脂を乾燥膜厚0. 3  $\mu$  mとなるように塗布し、乾燥後、フッ素を含むポリイミド樹脂からなる下部クラッド層(8  $\mu$  m)及びコア層(6. 5  $\mu$  m)を形成した。次にコア層の上にシリコン含有レジストを0. 5  $\mu$  m厚となるように塗布、乾燥し、実施例2で作製したマスクのコアパターンを介して露光、現像し、このレジストパターンを介して反応性イオンエッチングを行い、コア層を形成した。レジスト剥離後、上部クラッド層(15  $\mu$  m)を形成してポリイミド光導波路を作成した。その後、ダイシングによりチップに切り出した。

得られた光導波路の挿入損失を評価した。評価にあたっては、光導波路基板の両端に形成されたV溝をガイドとして光ファイバを固定して測定した。光源としては、波長1. 31  $\mu$  mの半導体レーザを用いた。第一発明の曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、平均-11. 8dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、平均-11. 8dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)、アーク曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、平均-12. 4dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、平均-12. 3dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であった。

以上のように、第一発明の曲線光導波路を用いて構成された1×8型ツリー構成のスプリッタでは、アーク曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な挿入損失を示した。

#### [0042] 実施例4

本発明の曲線部分における過剰損失を以下のように評価した。(入力波長1. 31  $\mu$  m及び1. 55  $\mu$  m)

式[IV]の関数で表される曲線を中心線とする第二発明の光導波路21、22を端部Aで接続して図23のように中央部に配置した。この際、z軸方向の長さは、2. 355m

m、z軸と垂直方向の長さは、0. 125mmとした。具体的には、式[IV]を次式で表されるようにして、z方向、x方向に拡大縮小して、光導波路の形状を得た。

光導波路の中心線の軌跡：

$$x / height = 1 - \cos[\pi(z / length) / 2] \cdots \cdots [XI]$$

但し、height=0. 125mm、length=2. 355mmである。

次に、介在部には、式[II]の関数で表される曲線を中心線とする第一発明の光導波路1、2を接続した。この際、z軸方向の長さは、3mm、z軸と垂直方向(x軸)の長さは、0. 125mmとした。具体的には、式[II]を次式で表されるようにして、z方向、x方向に拡大縮小して、光導波路の形状を得た。

光導波路の中心線の軌跡：

$$x / height = z / length - \sin[\pi(z / length) / 2] / \pi \cdots [XII]$$

但し、height=0. 125mm、length=3mmである。

なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。また、接続部において両曲線の接線が略平行となるように中央部と介在部のz軸方向の長さを選択した。さらに、介在部の外側の入出力部には、z軸方向に平行な直線を中心線とする長さ0. 1mmの光導波路11、12を接続した。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。図23のように構成された上記光導波路は、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmである。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 004dB(入力波長1. 31 μmの場合)、-0. 002dB(入力波長1. 55 μmの場合)であった。

#### [0043] 比較例6

比較のために、実施例4と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、式[IV]や式[II]の曲線の代わりに円弧を用いた。また、実施例4と同様に、接続部において両曲線の接線が略平行となるように中央部と介在部のz軸方向の長さを選択した。具体的には、中央部、介在部に用いた円弧光導波路のz軸方向の長さは、全て2. 6775mmとした。なお、中央部と介在部との接続部にオフセットは設けなかった。入出力部と介在部との接続部においてもオフセットは設けなかった。このように構成した光導波路の過剰損

失は、 $-0.059\text{dB}$ (入力波長 $1.31\mu\text{m}$ の場合)、 $-0.095\text{dB}$ (入力波長 $1.55\mu\text{m}$ の場合)であり、実施例4に比べて大きな過剰損を示した。

[0044] 比較例7

比較のために、比較例6と同様に、z軸方向の全長 $10.91\text{mm}$ 、x軸方向の振れ幅 $0.25\text{mm}$ となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に $0.2\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては $0.1\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.013\text{dB}$ (入力波長 $1.31\mu\text{m}$ の場合)、 $-0.039\text{dB}$ (入力波長 $1.55\mu\text{m}$ の場合)であり、実施例4に比べて大きな過剰損を示した。波長 $1.31\mu\text{m}$ では、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、波長 $1.55\mu\text{m}$ では、過剰損失の低減は十分ではなく、両波長において同時に低損失を実現できなかった。

[0045] 比較例8

比較のために、比較例6と同様に、z軸方向の全長 $10.91\text{mm}$ 、x軸方向の振れ幅 $0.25\text{mm}$ となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に $0.4\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては $0.2\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.013\text{dB}$ (入力波長 $1.31\mu\text{m}$ の場合)、 $-0.019\text{dB}$ (入力波長 $1.55\mu\text{m}$ の場合)であり、実施例4に比べて大きな過剰損を示した。波長 $1.31\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ ともに、オフセットの効果により過剰損失が低減したが、過剰損失の低減は実施例4に比べると十分ではなかった。

[0046] 比較例9

比較のために、比較例6と同様に、z軸方向の全長 $10.91\text{mm}$ 、x軸方向の振れ幅 $0.25\text{mm}$ となるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と介在部との接続部に $0.6\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。入出力部と介在部との接続部においては $0.3\mu\text{m}$ のオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、 $-0.060\text{dB}$ (入力波長 $1.31\mu\text{m}$ の場合)、 $-0.036\text{dB}$ (入力波長 $1.55\mu\text{m}$ の場合)であり、実施例4に比べて大きな過剰損を示した。波長 $1.55\mu\text{m}$ では、オフセットの効果によりわずかに過剰損失が低減したが、波長 $1.31\mu\text{m}$ では、オフセットを設けなかつた

比較例6と同等の過剰損失にとどまり、両波長において同時に低損失を実現できなかつた。

[0047] 比較例10

比較のために、比較例6と同様に、z軸方向の全長10. 91mm、x軸方向の振れ幅0. 25mmとなるように、光導波路を構成した。但し、ここでは、中央部と両端部との接続部に0. 8  $\mu$  mのオフセットを設けた。入出力部と両端部との接続部においては0. 4  $\mu$  mのオフセットを設けた。このように構成した光導波路の過剰損失は、-0. 155dB(入力波長1. 31  $\mu$  mの場合)、-0. 092dB(入力波長1. 55  $\mu$  mの場合)であり、実施例4に比べて大きな過剰損を示した。波長1. 31  $\mu$  mでは、オフセットを設けなかつた比較例6と比べると、オフセットの逆効果により過剰損失がかえつて増大した、波長1. 55  $\mu$  mでは、過剰損失の低減効果はわずかであり、両波長において同時に低損失を実現できなかつた。

[0048] 以上の実施例4及び比較例6～10で用いた光導波路の構成要素、形状及び損失結果について、表2にまとめて示した。表2からわかるように、実施例4は、いずれの比較例と比べても、波長1. 31  $\mu$  m、1. 55  $\mu$  mともに低損失であった。また、円弧を組み合わせて構成した光導波路では、接続部での損失を低減するためにオフセットを種々変えて評価してみたが、両波長での低損失を同時に満足することができなかつた。すなわち、複数の波長で使用される光導波路や、広帯域の波長範囲で用いられる光導波路では、オフセットして接続した場合であつても、全波長範囲で低損失を実現することができないことがわかる。

[0049] [表2]

表 2

項目	入出力部	接続部	介在部		接続部		中間部		全長	波長	損失 dB	
			導波路形状	オフセット導波路形状	x幅	z長	式 IV	x幅	z長			
実施例4	直線	なし	式 II	125 μm	3000 μm	なし	式 IV	125 μm	2355 μm	10910 μm	1.31 μm	-0.004
比較例6	直線	なし	円弧	125 μm	2677.5 μm	なし	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.55 μm	-0.002
比較例7	直線	0.1 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.2 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm	-0.059
比較例8	直線	0.2 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.4 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.55 μm	-0.095
比較例9	直線	0.3 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.6 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm	-0.013
比較例10	直線	0.4 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	0.8 μm	円弧	125 μm	2677.5 μm	10910 μm	1.31 μm	-0.039

## [0050] 実施例5

次に、図24に示した構成の1×8スプリッタについて過剰損失を計算した。図中実

線の部分21～26に式[VII]の関数で表される曲線を有する本発明の光導波路を用い、点線の部分には従来のアーク曲線光導波路または直線光導波路を用いた。接続に本発明の光導波路を用いた場合は、平均-9.53dB(入力波長1.31μmの場合)、平均-9.66dB(入力波長1.55μmの場合)であった。次に比較のため、図24の実線の部分21～26に従来のアーク曲線を用いて過剰損失を計算した。アーク曲線光導波路を用いた場合は平均-9.66dB(入力波長1.31μmの場合)、平均-9.72dB(入力波長1.55μmの場合)であった。なお、過剰損失の計算にはビーム伝搬法(BPM)を用いた。このように、分岐光導波路間を接続するために第二発明の曲線光導波路を用いると損失を低減させることができた。

また、以下のようにして、上記のコアパターンのマスクを作製した。コアパターン寸法はプロセスで変化するので、変化量を考慮したコアパターンをCADで製図した。コアパターン以外にもマスクと基板の位置精度を向上させるためのアライメントマークや、その他パターン計測等に使用するマーカもマスクに追加した。CADの製図の手順は、製図作業の効率をよくするため、初めに1素子分のパターンを製図し、前記1素子分のパターンを配列複写してマスク全体にパターンを配置する。1素子分のパターンには、レイヤーを設けコアパターンを製図したレイヤー以外にも、違うレイヤーを用いてパターンを製図することが可能である。以上のように製図したCAD図面からマスク基板にパターンを露光機を用いて直接描画し、パターン部分をCrの金属膜で埋めたマスクと、パターン部分以外をCrの金属膜で埋めたマスクとを製作した。上記2つのマスクは、コアパターン形成プロセスで使用するレジストの種類及び光導波路製造におけるコア形成プロセスの種類によって使い分けることが可能である。

以上のように、第二発明の曲線光導波路を用いて構成された1×8スプリッタでは、アーク結合形状のS字型曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な過剰損失を示した。

#### [0051] 実施例6

以下の材料を用いて、図24に示される概略構造を有する曲線光導波路を有する光スプリッタを作製した。

コア：日立化成工業株式会社製 OPI-N3205

クラッド:日立化成工業株式会社製 OPI-N1005

製造方法;V溝が形成されたシリコンウエハ上に有機ジルコニウムキレートをスピンドル法により乾燥膜厚100オングストロームとなるように塗布し、乾燥後、その上にフッ素を含まないポリイミド樹脂を乾燥膜厚0.3 μmとなるように塗布し、乾燥後、フッ素を含むポリイミド樹脂からなる下部クラッド層(8 μm)及びコア層(6.5 μm)を形成した。次にコア層の上にシリコン含有レジストを0.5 μm厚となるように塗布、乾燥し、実施例2で作製したマスクのコアパターンを介して露光、現像し、このレジストパターンを介して反応性イオンエッチングを行い、コア層を形成した。レジスト剥離後、上部クラッド層(15 μm)を形成してポリイミド光導波路を作成した。その後、ダイシングによりチップに切り出した。

得られた光導波路の挿入損失を評価した。評価にあたっては、光導波路基板の両端に形成されたV溝をガイドとして光ファイバを固定して測定した。光源としては、波長1.31 μmの半導体レーザを用いた。本発明の曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、最も損失が大きいポートで-12.4dB、アーク曲線光導波路を用いた場合の挿入損失は、最も損失が大きいポートで-12.5dBであった。また、挿入損失の8ポート間の最大、最小の差(均一性)は、本発明では1.3dB、アーク曲線光導波路を用いた場合は2.4dBであった。

以上のように、第二発明の曲線光導波路を用いて構成された1×8型ツリー構成のスプリッタでは、アーク曲線光導波路を用いて構成された従来のスプリッタよりも良好な挿入損失を示した。また、ポート間の損失の均一性では、本発明の方が大幅に良好であった。

### 産業上の利用可能性

[0052] 以上説明してきたように、上記(1)記載の発明によれば、曲線光導波路を用いることで、両端において直線光導波路と軸ずれなしに低損失に結合する光導波路を構成することができる。

上記(2)記載の発明によれば、一端においては直線導波路と軸ずれなしに低損失に結合し、他端においては同一の曲率の曲線光導波路と軸ずれなしに結合する光導波路を構成することができる。また、本発明の曲線光導波路を用いることで、一端

においては直線光導波路と軸ずれなしに低損失に結合し、他端においては光のモード中心を導波路コアの幾何学的中心から軸ずれを起こした形で結合する光導波路を構成することができる。

また、本発明の曲線光導波路は、直線光導波路への接合の他に、上記(8)記載の発明のようにコア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非S字型曲線光導波路(図22の54と2の部分や62と8の部分など)、上記(13)記載の発明のようにマルチモード光導波路と分岐光導波路(図22の1, 2の部分)を用いたり、上記(15)～(16)記載の発明によれば非S字型曲線光導波路を用いるので短尺化が可能であり、分岐の際には分岐比が安定する上、方向変換も可能となり、スプリッターの大規模化を小スペースで効率的に実現できる(図22の1、3～10の部分)。また、上記(14)記載の発明のように分岐構造の結合部(1x2であれば、1ch側)との接合に好適に用いることができる(図22の1の部分)。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。

上記(3)～(17)記載の発明によれば、曲線光導波路が簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができる。本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。シミュレーションソフトウェアによっては、光導波路部分構造の回転操作が困難な場合がある。このような場合には、上記式[II]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向に平行で出力端にてz方向と角度 $\theta$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。さらに、上記式[III]の曲線光導波路を用いると入力端にてz方向と角度 $\theta_1$ 、出力端にてz方向と角度 $\theta_2$ をもつ光導波路を容易に与えることができる。このように、本発明の曲線光導波路は、光導波路を設計、マスク作製、製造のプロセス全体を容易にする効果も有しており、これを用いて出来上がった光導波路の性能をも良好に実現できるものである。

上記(6)～(17)記載の発明特に上記(16)、(17)記載の発明によれば、構成する曲線光導波路同士の互いの長所を生かし、短所を補い、かつスペース効率の高い光導波路が得られる。

第二発明の曲線光導波路において、曲率がゼロである端部の接合は、直線光導波路への接合の他に、分岐構造の結合部(1x2であれば、1ch側)との接合に好適に用いることができる。この接合部分においては、従来の軸ずれが必要な曲線光導波路を用いた場合に比べ、製造ばらつきが小さく、歩留まりの良い光導波路を得ることができる。さらに、広い波長範囲において、良好な光導波路を提供することができる。曲率が有限である端部の接合は、上記(23)記載の発明のように曲線光導波路への接合の他に、分岐構造の分岐部(1x2であれば、2ch側)との接合に好適に用いることができる。この接合部分においては、分岐根元部の狭幅部分を有限の間隙とした場合であっても、分岐部根元中央部からの漏れ光を低減することができ、分岐過剰損失を少なくすることが可能である。また、上記(26)～(28)記載の発明によれば非S字型曲線光導波路を用いるので短尺化が可能であり、分岐の際には分岐比が安定する上、方向変換も可能となり、スプリッターの大規模化を小スペースで効率的に実現できる。

上記(18)～(28)記載の発明によれば、曲線光導波路が簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができる。本発明の曲線光導波路は、簡単な関数で記載できるため、光導波路を設計する際に、一般的なシミュレーションソフトウェアにて容易に作成することができる。

上記(25)～(28)記載の発明によれば、構成する曲線光導波路同士の互いの長所を生かし、短所を補い、かつスペース効率の高い光導波路が得られる。上記(25)～(28)記載の発明によれば、さらに曲線光導波路が簡単な関数で記載できるため、光導波路製造用マスクもしくは光導波路製造用成形型を作製する際に、一般的なCADにて容易に作成することができる。

上記(29)または上記(30)記載の発明によれば、短時間で加工し易く耐熱性に優れ、透過率・屈折率特性に優れた曲線光導波路が得られる。

上記(31)記載の発明によれば、光学特性並びに伝送特性に優れ、スペース効率の高い光スプリッタ、方向性光結合器、光カプラ、光合分岐器、光合分波器、光送信モジュール、光受信モジュール、光送受信モジュール、光スイッチ、光変調器、光フィルタ、光偏向器、光分散補償器、光アドドロップモジュール、光クロスコネクトなどが得られる。

以上のように、本発明の曲線光導波路及び光学装置によれば、異なる性質の光導波路を接続する場合に好適に用いることのできる曲線光導波路及び光学装置が得られる。

#### 図面の簡単な説明

[0053] [図1]第一発明である曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

[図2]従来の曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

[図3]第二発明である曲線光導波路の両端における直線光導波路との接続部を表した図である。

[図4]第一発明の曲線光導波路において、コア形状が式[I]で定義される場合の説明図である。

[図5]本発明の曲線光導波路において、コア形状が式[II]又は式[IV]で定義される場合の説明図である。

[図6]本発明の曲線光導波路において、コア形状が式[III]又は式[V]～[VII]で定義される場合の説明図である。

[図7]図1に示した曲線光導波路の端部Bの有効な利用例を表した図である。

[図8]図1に示した曲線光導波路の端部Bの図7とは別の有効な利用例を表した図である。

[図9]図1に示した曲線光導波路の端部Bの更に図8とは別の有効な利用例を表した図である。

[図10]図1に示した曲線光導波路の端部Bの更に図9とは別の有効な利用例を表した図である。

[図11]図1に示した曲線光導波路の端部の更に図10とは別の有効な利用例を表した図である。

[図12]図3に示した曲線光導波路の端部Aの有効な利用例を表した図である。

[図13]図3に示した曲線光導波路の端部Aの図12とは別の有効な利用例を表した図である。

[図14]図3に示した曲線光導波路の端部Bの有効な利用例を表した図である。

[図15]図3に示した曲線光導波路の端部Bの図14とは別の有効な利用例を表した図である。

[図16]図3に示した曲線光導波路の端部Bの図15とは別の有効な利用例を表した図である。

[図17]図3に示した曲線光導波路の端部Bの更に図16とは別の有効な利用例を表した図である。

[図18]図3に示した曲線光導波路の端部Bの更に図17とは別の有効な利用例を表した図である。

[図19]本発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの一実施態様を示す図である。

[図20]本発明の曲線光導波路を用いた光スプリッタの図19とは別の一実施態様を示す図である。

[図21]実施例1で用いた光導波路を示す図である。

[図22]実施例2及び実施例3で用いた1×8光スプリッタを示す図である。

[図23]実施例4で用いた光導波路を示す図である。

[図24]実施例5、実施例6で用いた1×8光スプリッタを示す図である。

## 符号の説明

[0054] 1～10:第一発明の曲線光導波路

20:従来の曲線光導波路

11～12:直線光導波路

21～26:第二発明の曲線光導波路

31～33:分岐構造

34～40:マルチモード光導波路を用いた分岐構造

41:マルチモード光導波路

42:光ファイバ

43～47:光ファイバ用ガイド溝

48:反射体

50:クラッド

51～64:本発明で用いる別の新しい曲線光導波路及び／または直線光導  
波路から構成される光導波路

100:光導波路形成領域

200、201:光スプリッタ

A:曲率半径が有限な端部

B:曲率半径が無限大(曲率がゼロ)に漸近している端部

## 請求の範囲

[1] コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ両端における曲率がゼロに漸近することを特徴とする曲線光導波路。

[2] コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な曲線光導波路。

[3] コア形状が以下の式[I]で定義される、請求項1に記載の曲線光導波路：

$$y = \sin \pi z \cdots \cdots \cdots [I]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

[4] コア形状が以下の式[II]で定義される、請求項1に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(1/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [II]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

[5] コア形状が以下の式[III]で定義される、請求項1に記載の曲線光導波路：

$$y = z - [(a/\pi) \sin \pi z] \cdots \cdots [III]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、aはゼロでない実数である。

[6] 請求項1に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

[7] 請求項1に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を、その幾何学的中心軸を一致させて光学的に接続して配置した光導波路。

[8] 前記別のコア形状の光導波路は、コア及びクラッドからなる光導波路において、そのコア形状が中途に曲率の反転を有さず、かつ一端における曲率がゼロに漸近し、他端における曲率半径が有限な非S字型曲線光導波路である請求項6または請求項7に記載の光導波路。

[9] 前記コア形状が以下の式[IV]で定義される、請求項8に記載の光導波路：

$$y = 1 - \cos [(\pi/2)z] \cdots \cdots \cdots [IV]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

[10] 前記コア形状が以下の式[V]で定義される、請求項8に記載の光導波路：

$$y = (1-t)f(z) + t\{1-\cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f(z)はzの連続関数であり、f(0)=0、f(1)=1、f''(0)=0、f''(1)=0を満足する関数であり、f''(z)はf(z)のzに関する2階微分を表す。tはゼロでない実数である。

[11] 前記コア形状が以下の式[VI]で定義される、請求項8に記載の光導波路：

$$y = (1-t)z + t\{1-\cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tはゼロでない実数である。

[12] 前記コア形状が以下の式[VII]で定義される、請求項8に記載の光導波路：

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin \pi z] \\ &+ t[1-\cos[(\pi/2)z]] \cdots \cdots \cdots [VII] \end{aligned}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tおよびaはゼロでない実数である。

[13] 前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である請求項6または請求項7に記載の光導波路。

[14] 前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置した請求項13に記載の光導波路。

[15] 請求項1に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

[16] 請求項1に記載の曲線光導波路の端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

[17] 前記分岐光導波路の入力端を前記曲線光導波路の一方の端部に光学的に接続して配置し、かつ前記曲線光導波路の他方の端部には別の分岐光導波路を光学的に接続して配置した請求項13に記載の光導波路。

[18] コア形状が以下の式[IV]で定義される、請求項2に記載の曲線光導波路：

$$y = 1 - \cos[(\pi/2)z] \cdots \cdots \cdots [IV]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸である。

[19] コア形状が以下の式[V]で定義される、請求項2に記載の曲線光導波路：

$$y = (1-t)f(z) + t\{1-\cos[(\pi/2)z]\} \cdots [V]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、f(z)はzの連続関数であり、f(0)=0、f(1)=1、f''(0)=0、f''(1)=0を満足する関数であり、f''(z)はf(z)のzに関する2階微分を表す。tはゼロでない実数である。

[20] コア形状が以下の式[VI]で定義される、請求項2に記載の曲線光導波路：

$$y = (1-t)z + t\{1-\cos[(\pi/2)z]\} \cdots [VI]$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tはゼロでない実数である。

[21] コア形状が以下の式[VII]で定義される、請求項2に記載の曲線光導波路：

$$\begin{aligned} y &= (1-t)[z - (a/\pi)\sin \pi z] \\ &+ t[1-\cos[(\pi/2)z]] \cdots \cdots \cdots [VII] \end{aligned}$$

上記式において、y及びzは光導波路が存在する平面上の直交する座標軸であり、tおよびaはゼロでない実数である。

[22] 請求項2に記載の曲線光導波路に別のコア形状の光導波路を光学的に接続して配置した光導波路。

[23] 前記別のコア形状の光導波路は分岐光導波路である請求項22に記載の光導波路。

[24] 前記分岐光導波路の出力端を前記曲線光導波路の曲率半径が有限である端部に光学的に接続して配置した請求項23に記載の光導波路。

[25] 前記分岐光導波路の入力端に前記曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部を光学的に接続して配置した請求項23に記載の光導波路。

[26] 請求項2に記載の曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部に光ファイバを光学的に接続して配置した光導波路。

[27] 請求項2に記載の曲線光導波路の曲率がゼロに漸近する端部に光ファイバを固定するためのガイド溝構造を隣接して配置した光導波路。

[28] 請求項2に記載の曲線光導波路の曲率半径が有限な端部にフィルタ等を含む反射面を隣接して配置した光導波路。

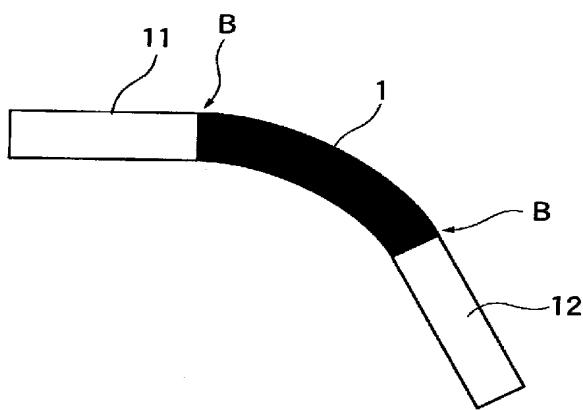
[29] 光導波路のコアおよび/またはクラッドの一部または全部がポリマーである請求項1

ー請求項28のいずれかに記載の光導波路。

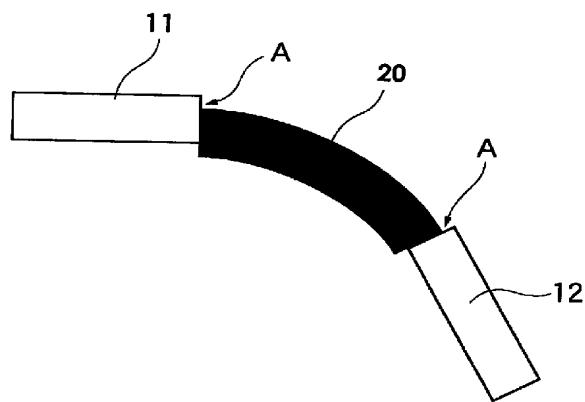
[30] ポリマーがフッ素を含むポリイミド系樹脂である、請求項29に記載の光導波路。

[31] 請求項1ー請求項30のいずれかに記載の光導波路を用いた光学装置。

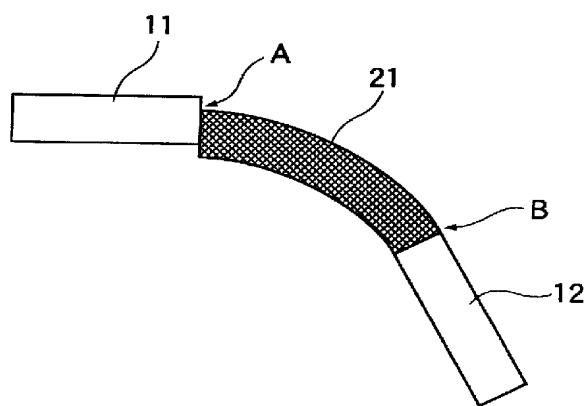
[図1]



[図2]

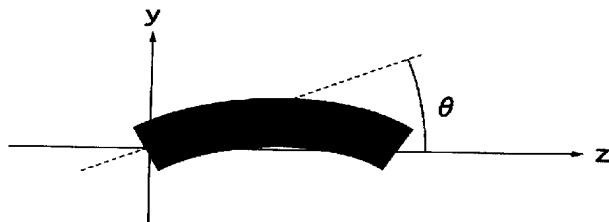


[図3]



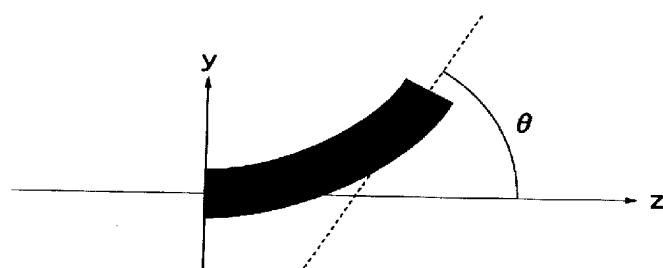
[図4]

- ・左端部(入力端)は、z軸と角度 $\theta$
- ・右端部(出力端)は、z軸と角度 $-\theta$



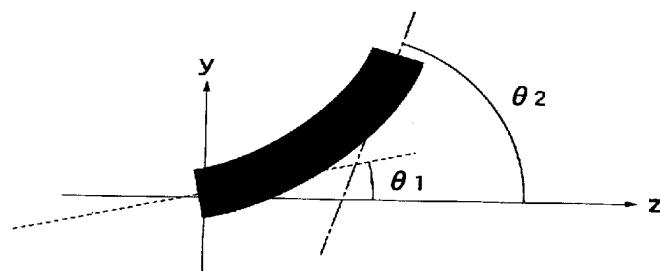
[図5]

- ・左端部(入力端)は、z軸と平行
- ・右端部(出力端)は、z軸と角度 $\theta$

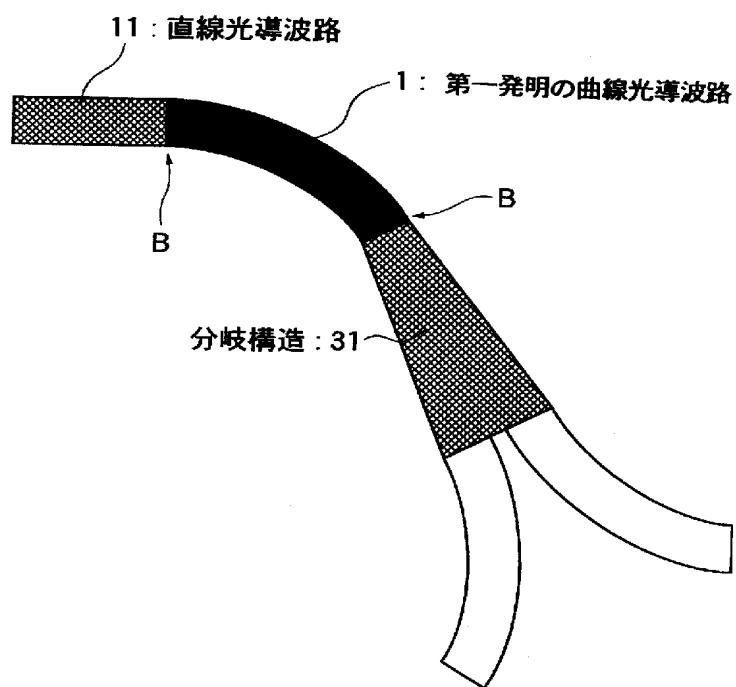


[図6]

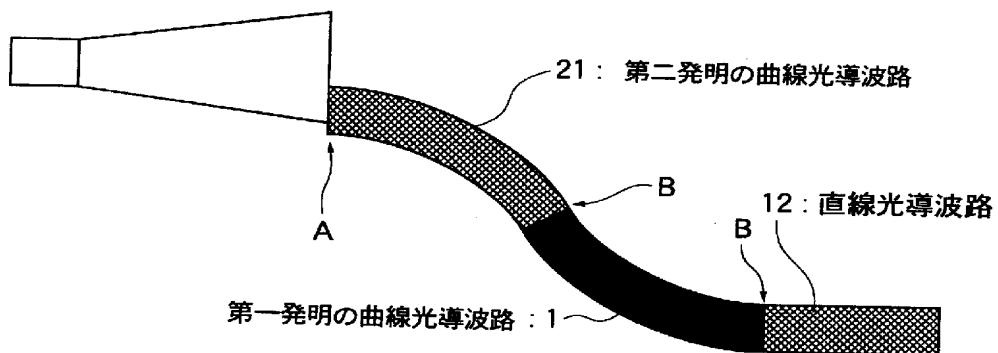
- ・左端部(入力端)は、z軸と角度 $\theta_1$
- ・右端部(出力端)は、z軸と角度 $\theta_2$



[図7]

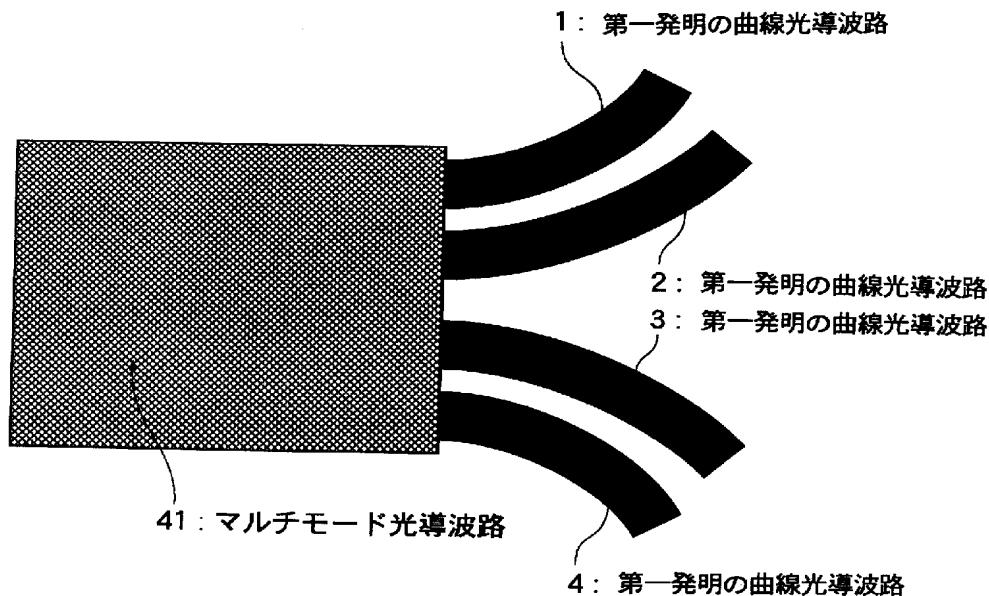


[図8]



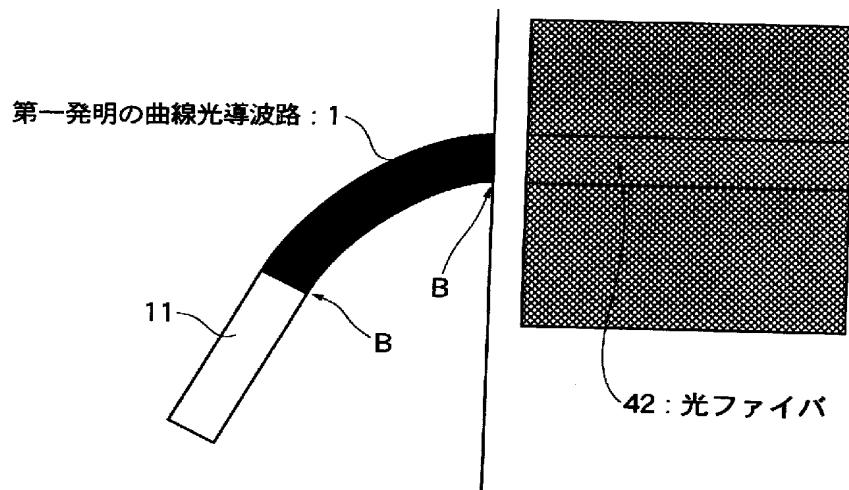
[図9]

## ・マルチモード光導波路と接続



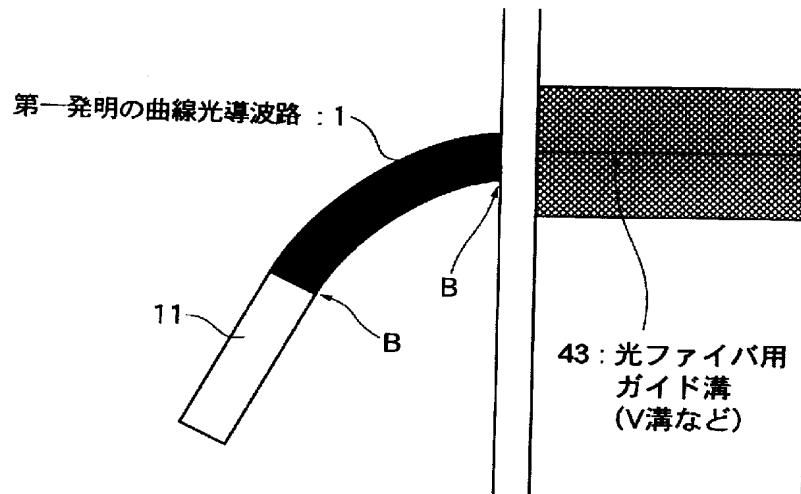
[図10]

## ・光ファイバと接続

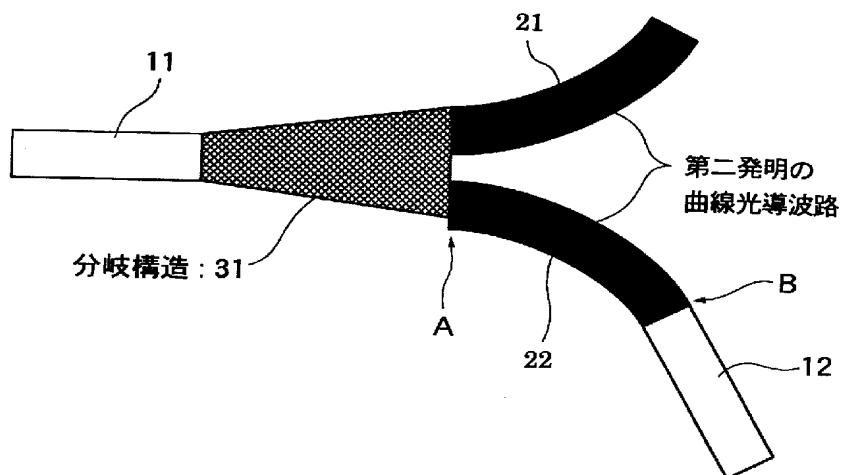


[図11]

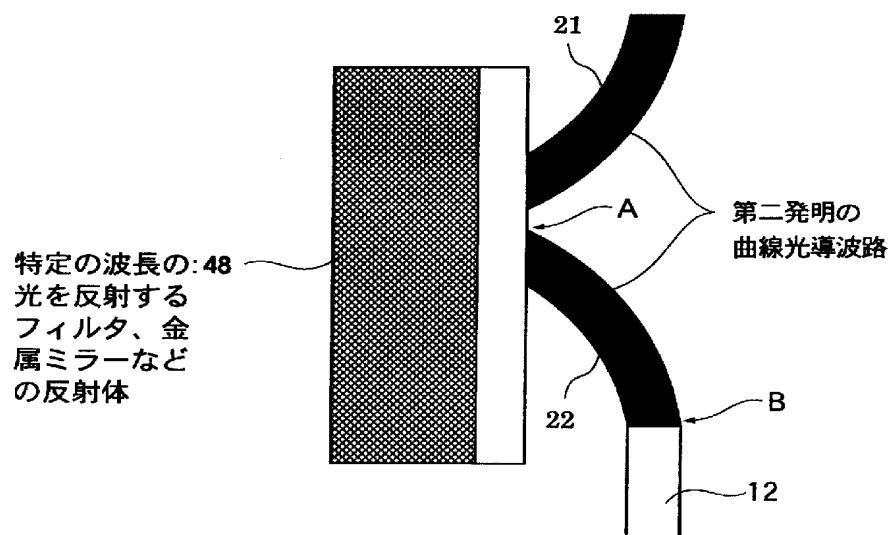
## ・光ファイバ設置用ガイド溝と接続



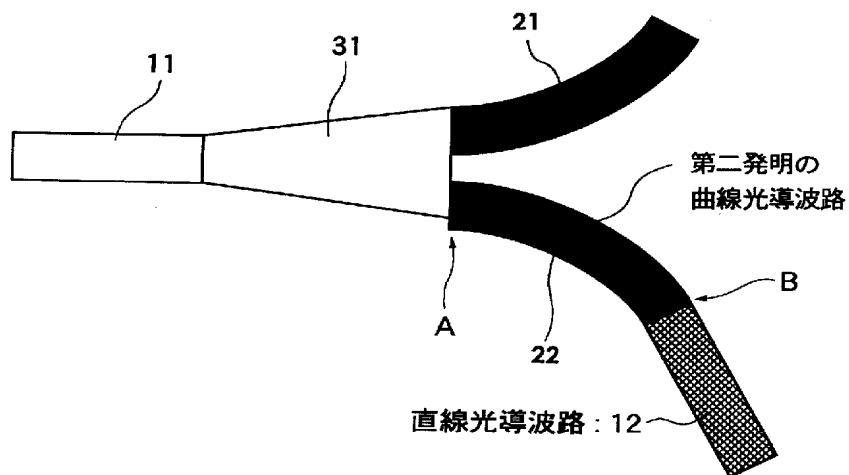
[図12]



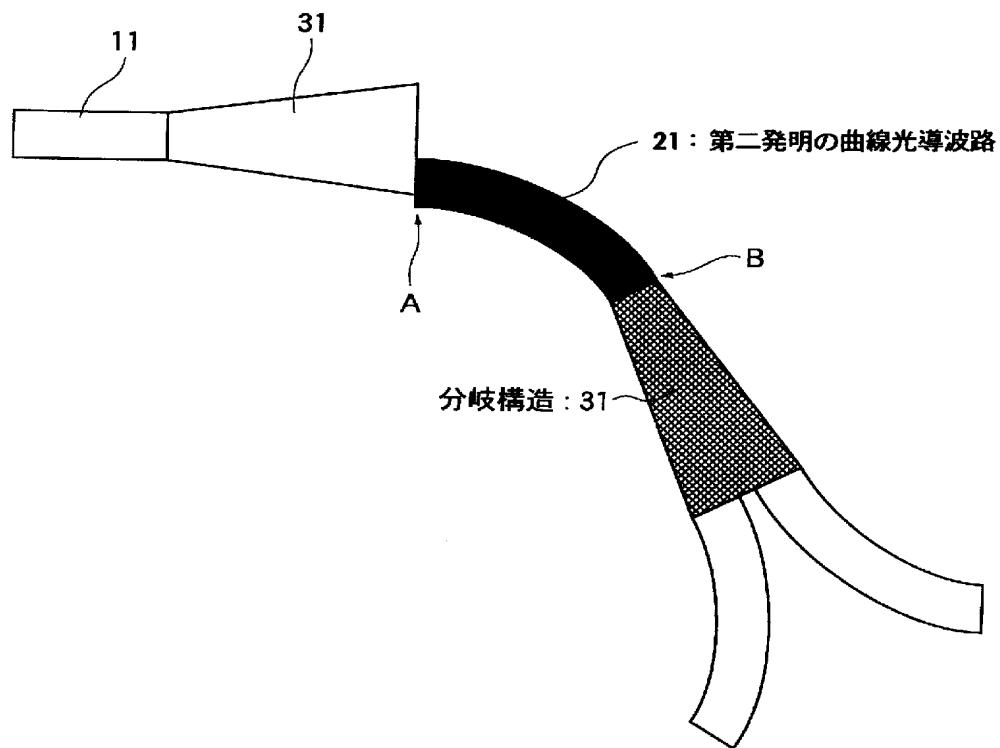
[図13]



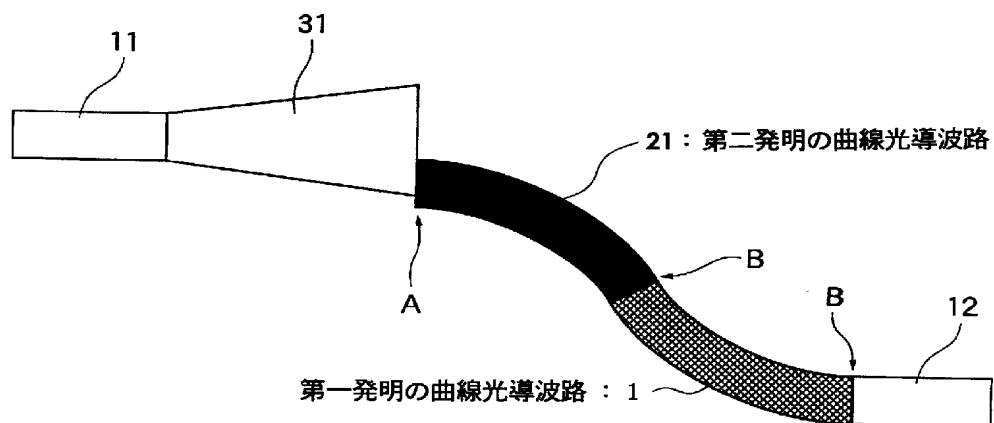
[図14]



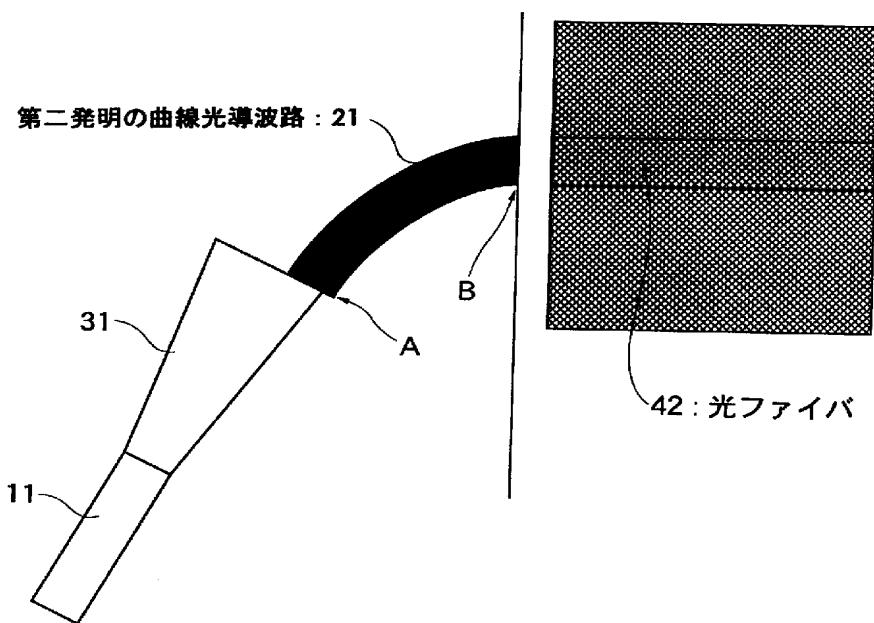
[図15]



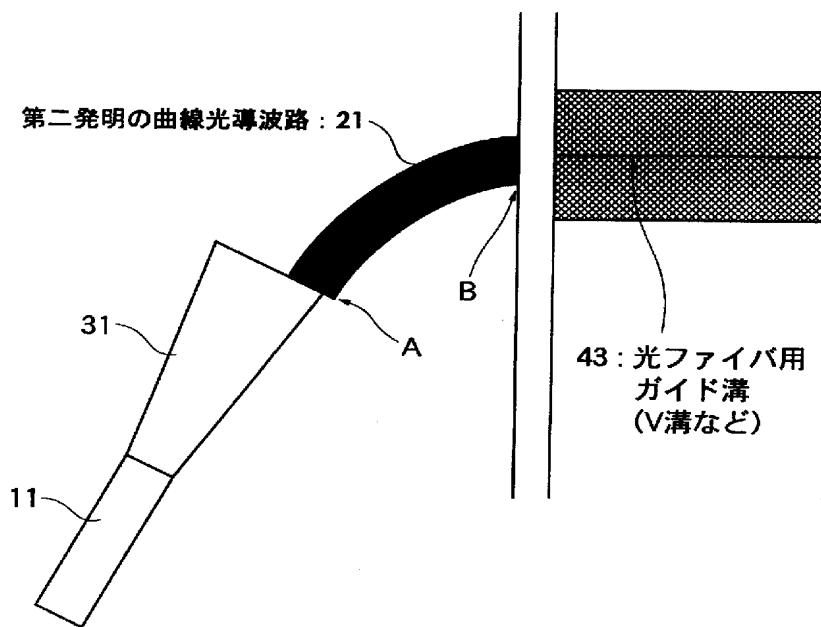
[図16]



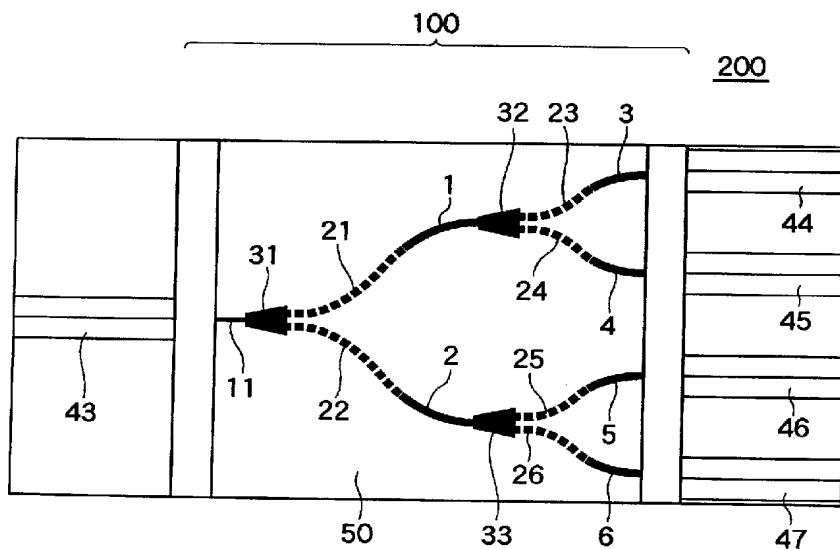
[図17]



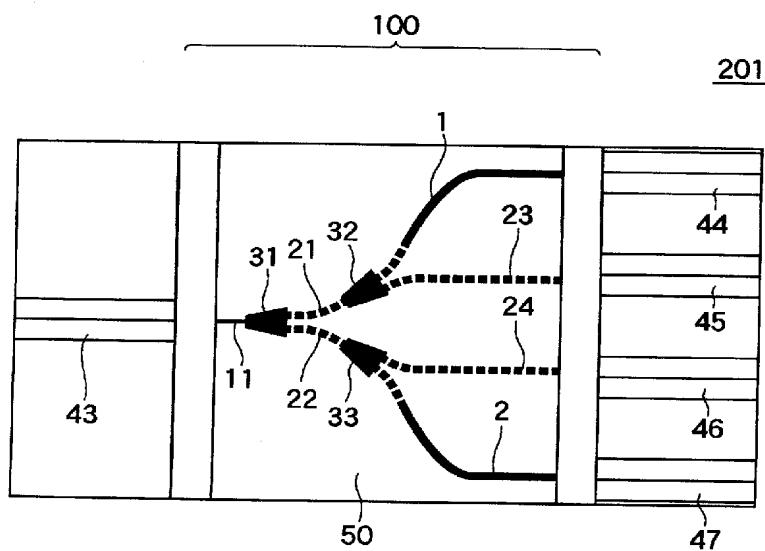
[図18]



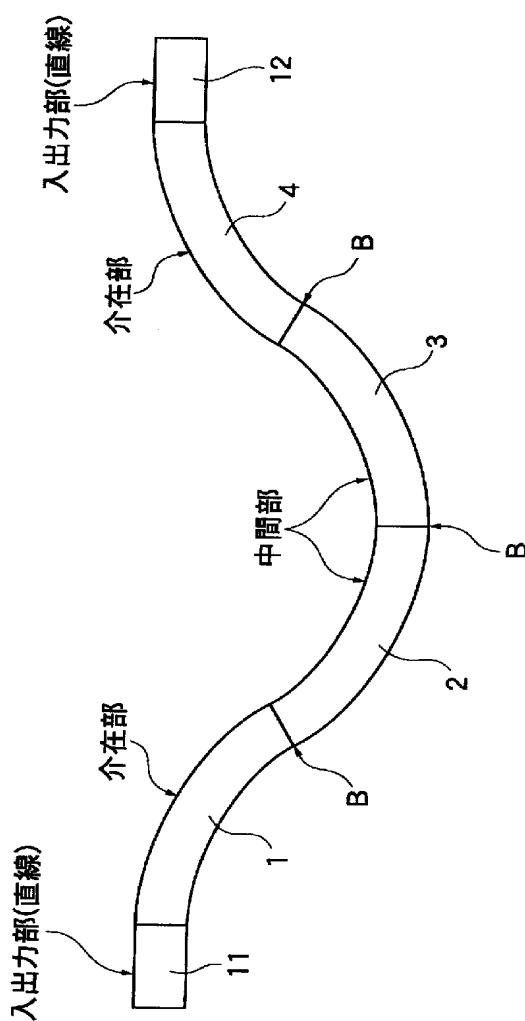
[図19]



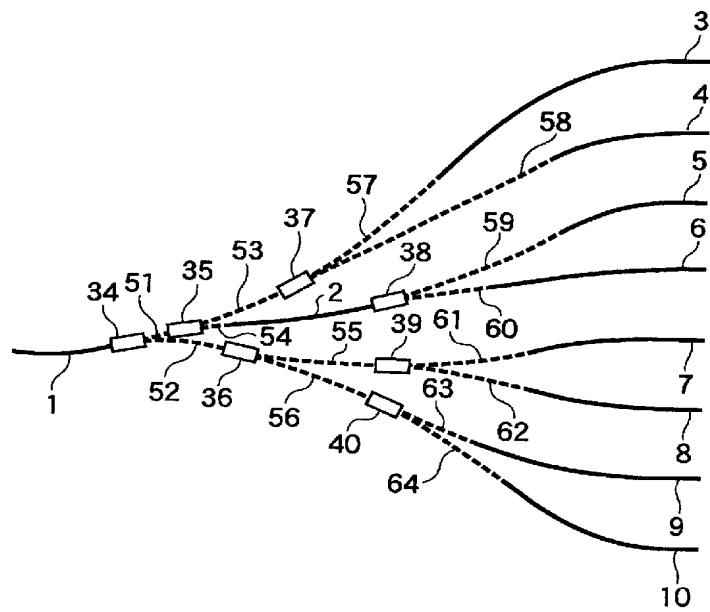
[図20]



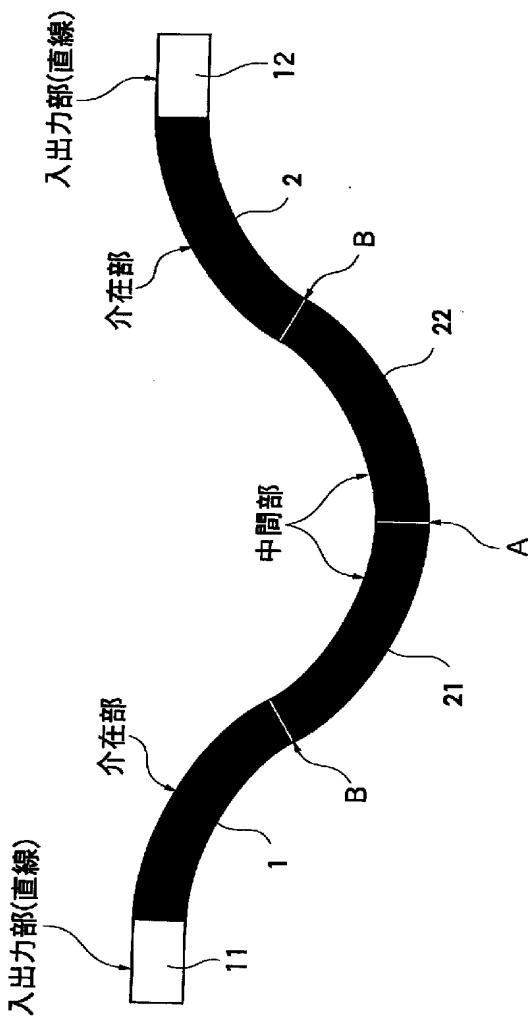
[図21]



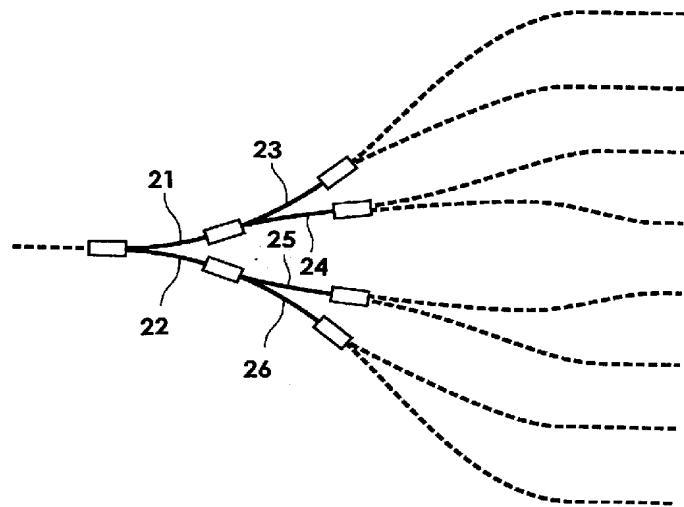
[図22]



[図23]



[図24]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/000703

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/122

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/122

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JICST FILE (JOIS)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 7-159635 A (Siemens AG.), 23 June, 1995 (23.06.95), Par. Nos. [0009] to [0030]; Figs. 1 to 3 & EP 0645649 A2	1-12, 18-22, 29-31 13-17, 23-28
Y	JP 5-203453 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 10 August, 1993 (10.08.93), Par. Nos. [0001], [0008] to [0014]; Fig. 1 (Family: none)	1-31
Y	JP 5-196826 A (Corning Inc.), 06 August, 1993 (06.08.93), Fig. 2 & US 5222167 A & EP 0513556 A1 & FR 2676548 B1 & CA 2068542 A1 & AU 1607792 A	13, 14, 17, 23-25

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

- \* Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 07 April, 2005 (07.04.05)	Date of mailing of the international search report 26 April, 2005 (26.04.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer

Faxsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/000703

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-295538 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 29 October, 1999 (29.10.99), Par. Nos. [0014] to [0018]; Figs. 1, 3, 5 (Family: none)	13-16, 23-28
P, X	JP 2004-302143 A (Hitachi Chemical Co., Ltd., Hitachi, Ltd.), 28 October, 2004 (28.10.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-31
P, Y	Nobuo MIYADERA et al., "Hikari Splitter-yo Polymer Hikaridoharo Kiban no Kaihatsu", Hitachi Kasei Technical Report, 2004. 07, No.43, pages 29 to 34	1-31

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl.<sup>7</sup> G02B6/122

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl.<sup>7</sup> G02B6/122

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JICST ファイル(JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 7-159635 A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 1995.06.23, 【0009】 - 【0030】 , 【図1】 - 【図3】 & EP 0645649 A2	1-12, 18-22, 29-31
Y		13-17, 23-28
Y	JP 5-203453 A (日本航空電子工業株式会社) 1993.08.10, 【0001】 , 【0008】 - 【0014】 , 【図1】 (ファミリーなし)	1-31

 C欄の続きにも文献が列挙されている。

「パテントファミリーに関する別紙を参照。」

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

07.04.2005

## 国際調査報告の発送日

26.4.2005

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

## 特許庁審査官（権限のある職員）

後藤 昌夫

2K 3313

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C(続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 5-196826 A (コーニング インコーポレイテッド) 1993.08.06, 【図2】 & US 5222167 A & EP 0513556 A1 & FR 2676548 B1 & CA 2068542 A1 & AU 1607792 A	13, 14, 17, 23- 25
Y	JP 11-295538 A (日本航空電子工業株式会社) 1999.10.29, 【0014】 - 【0018】 , 【図1】 , 【図3】 , 【図5】 (ファミリーなし)	13-16, 23-28
P, X	JP 2004-302143 A (日立化成工業株式会社, 株式会社日立製作所) 2004.10.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-31
P, Y	宮寺信生他, 光スプリッタ用ポリマ光導波路基板の開発, 日立化成 テクニカルレポート, 2004.07, 第43号, p.29-34	1-31